

IMPACTO DEL ACOPLAMIENTO FÍSICA-DINÁMICA EN LA CALIDAD DE LAS PREDICCIONES

Isabel Martínez Marco

Servicio de Modelización Numérica del Tiempo. INM

RESUMEN

Esta nota describe una aproximación parcial de segundo orden de exactitud de las parametrizaciones físicas dentro de la versión semi-implícita y semilagrangiana de dos niveles de tiempo del modelo HIRLAM. Esta aproximación se consigue promediando parte o todas las tendencias de las parametrizaciones a lo largo de la trayectoria semilagrangiana. Se describe y compara el acoplamiento física-dinámica con la configuración actual del modelo HIRLAM. En el actual modelo, el cálculo de la tendencia de la convección emplea las tendencias de los otros esquemas del mismo paso de tiempo. Para reducir tal dependencia, la nueva configuración utiliza un predictor de las variables del modelo que se encarga de acoplar las diferentes parametrizaciones unas con otras. El acoplamiento física-dinámica conduce a resultados más estables, con la posibilidad de aumentar el paso de tiempo; produce resultados más exactos para el mismo tamaño de paso de tiempo y los campos son más suaves.

1. Introducción

La discretización temporal de las parametrizaciones es normalmente de primer orden de exactitud. Sin embargo, la necesidad creciente de ir hacia modelos de alta resolución ha forzado la utilización de esquemas semilagrangianos para los términos advectivos. Estos esquemas son al menos de segundo orden de exactitud y mucho más estables, permitiendo el uso de pasos de tiempo mayores. Este alto grado de exactitud hace deseable un nuevo cálculo de la física con la misma exactitud y con menor sensibilidad al tamaño del paso de tiempo.

Idealmente, la dinámica y la física deberían calcularse juntas. Sin embargo, se mantienen separadas por varias razones: primero, el sistema de ecuaciones primitivas es muy caro de resolver; segundo, los términos no lineales de la física pueden producir inestabilidad y tercero, algunos de los esquemas físicos necesitan las tendencias de la dinámica como dato de entrada.

Esta nota describe una aproximación parcial de segundo orden de exactitud de las parametrizaciones físicas dentro de la versión semi-implícita y semilagrangiana de dos niveles de tiempo (2TLSLSI) del modelo HIRLAM.

En la sección 2 se explica el acoplamiento de las diferentes parametrizaciones unas con otras. El acoplamiento física-dinámica se describe en la sección 3. A continuación, se muestran los diferentes resultados obtenidos y el impacto en la calidad de las predicciones y por último, las conclusiones alcanzadas.

2. Acoplamiento de las parametrizaciones

El modelo actual HIRLAM utiliza la aproximación “fractional stepping” (Beljaars, 1991). Los resultados dependen del orden en que se calculan las diferentes parametrizaciones. En el modelo HIRLAM la secuencia es: primero, difusión vertical; segundo, radiación; tercero, convección y por último, procesos de suelo. La convección utiliza las tendencias de la difusión vertical y de la radiación del mismo paso de tiempo. Esta dependencia del paso de tiempo es una clara desventaja de esta aproximación. Para reducir tal dependencia, se utiliza un predictor de las variables del modelo que se encarga de acoplar los esquemas de las parametrizaciones unos con otros.

- En el primer experimento **SLH**, el predictor emplea la tendencia de la dinámica, la tendencia de la radiación y de la convección del paso de tiempo anterior y la tendencia de la difusión vertical del actual paso de tiempo (Wedi, 1999).

- En el segundo experimento **SLF**, el predictor emplea la tendencia de la dinámica, la tendencia de la radiación y de la convección del paso de tiempo anterior y un promedio de las tendencias de la difusión vertical de los pasos de tiempo anterior y actual.
- En el modelo de referencia HIRLAM (experimento **SLA**), se emplea la tendencia de la dinámica y la tendencia de la radiación y de la difusión vertical en el actual paso de tiempo.

Los esquemas radiativos y de difusión vertical permanecen iguales en los tres experimentos. El principal cambio es la utilización de este nuevo predictor en el esquema convectivo.

3. Interfaz entre física y dinámica

El primer experimento **SLH** es muy similar a la aproximación del Centro Europeo (Wedi,1999). Las tendencias físicas de la radiación y de la convección son promediadas a lo largo de la trayectoria semilagrangiana y las de la difusión vertical corresponden sólo al punto de llegada de la trayectoria semilagrangiana.

En el segundo experimento **SLF**, las tendencias de la radiación, convección y difusión vertical son promediadas a lo largo de la trayectoria semilagrangiana.

En el actual modelo de referencia HIRLAM (experimento **SLA**), las tendencias físicas de la radiación, convección y difusión vertical corresponden sólo al punto de llegada.

4. Resultados

Los experimentos **SLH** y **SLF** son comparados con **SLA** (versión 4.6.2 del actual modelo HIRLAM con el esquema 2TLSLSI). La malla horizontal está formada por 168x100 puntos con una resolución de 0.5°x0.5° y 31 niveles híbridos en la vertical.

La interpolación utilizada para interpolar las tendencias diabáticas al punto de partida de la trayectoria semilagrangiana es mixta (cúbica/lineal).

En el primer paso de tiempo, la configuración es similar a la del modelo HIRLAM de referencia.

4.1 Comparación de la exactitud numérica

Para evaluar la sensibilidad de las soluciones a los cambios del tamaño del paso de tiempo, asumimos que el método que tenga las soluciones con pasos de tiempo largos más cercanas a las soluciones con pasos de tiempo cortos será el mejor método (Wedi, 1999).

Se corren cuatro diferentes predicciones hasta 24 horas de alcance con $t=180s$ y $t=1350s$. Como una medida de la desviación de la solución de 1350s de la de 180s (asumida como correcta), se calcula la raíz del error cuadrático medio para los tres experimentos:

$$rms = \sqrt{(F_{t=1350s} - F_{t=180s})^2} \quad [1]$$

Donde la barra representa una media sobre el área. Las tendencias diabáticas son integradas verticalmente y acumuladas cada paso de tiempo en un periodo de 24 horas.

Comparando los tres experimentos, he obtenido que:

- Los rms de las tendencias diabáticas totales de temperatura, humedad específica y contenido de agua de nube son menores en los experimentos SLH y SLF (Figura 1).
- Los rms de la tendencia diabática de la temperatura debida a la radiación es menor en el experimento SLH.
- El rms de la tendencia diabática de la temperatura debida a la difusión vertical es menor en los experimentos SLA y SLH.

- El rms de la tendencia diabática de la humedad específica debida a la difusión vertical es similar en todos los experimentos.
- El rms de la tendencia diabática del contenido de agua de nube debida a la difusión vertical es menor en el experimento SLH, pero el mayor rms aparece en SLF.
- El rms de los flujos superficiales de momento es menor en el experimento SLH, pero muy similar al experimento SLA (Figura 1).
- El rms de la precipitación convectiva es menor en los experimentos SLH y SLF (Figura 1).
- El rms de la precipitación estratiforme es menor en el experimento SLA, pero su contribución es mucho menor que la de la precipitación convectiva a la precipitación total.

En resumen, las diferencias más pequeñas entre las soluciones de pasos de tiempo largos y las soluciones de pasos de tiempo cortos corresponden al experimento SLH.

Para comparar los diferentes esquemas, se calcula también la verificación frente a observaciones sobre todo el área. Las integraciones comienzan el 1 de julio de 1995 a las 12 UTC hasta el 3 de julio de 1995 a las 12 UTC cada 6 horas. Las variables estudiadas son temperatura, humedad relativa y viento.

Los resultados de las soluciones de pasos de tiempo cortos son muy similares utilizando cualquier método. Los errores de las soluciones de pasos de tiempo largos son también similares pero las diferencias son mayores. Los mejores resultados de los nuevos métodos aparecen en la humedad relativa.

4.2 Estudio de casos convectivos

Puesto que las principales mejoras se observan en el cálculo de las tendencias diabáticas del esquema convectivo, he analizado dos casos de convección fuerte.

Las características generales de los tres experimentos son:

- Versión 4.6.2 del modelo HIRLAM con el esquema 2TLSLSI,
- 134x60 puntos con una resolución horizontal de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,
- 31 niveles híbridos en la vertical y
- un paso de tiempo ligeramente mayor $t=1200s$.

Se incrementa el paso de tiempo para demostrar la ganancia en eficiencia con menor pérdida de exactitud con los nuevos métodos; hecho muy relevante cuando nos movamos hacia resoluciones más altas.

4.2.1 La tormenta tropical Erika

Aparece, por primera vez, como un huracán el 4 de septiembre de 1997 en el Caribe. El día 12, se debilita debido a la combinación de temperaturas del agua del mar más frías y a la presencia de vientos del oeste. La simulación comienza el 12 de septiembre de 1997 a las 12 UTC y alcanza un periodo de 75 horas. En ese momento, Erika todavía posee convección profunda cerca de su centro. El centro pasa muy cerca de las islas Azores el día 15.

Comparando los tres experimentos el día 15 de septiembre de 1997 a las 12 UTC, obtuve que:

- Los nuevos experimentos muestran una baja desplazada aproximadamente 2° hacia el sur con respecto al experimento de referencia, más en consonancia con el análisis verificador.
- Su presión central es 992 hPa en todos los experimentos, igual que el valor del análisis verificador.
- En 850 hPa, el centro también está desplazado 2° hacia el sur con respecto al experimento de referencia, más en consonancia con el análisis verificador.
- En niveles superiores, no hay diferencias entre los tres experimentos.

4.2.2 Convección profunda sobre el Mediterráneo

Un sistema convectivo mesoescalar se desarrolla en esa área el día 11 de septiembre de 1996. A las 06 UTC se mueve hacia el norte y nuevos sistemas aparecen cerca de Valencia. Durante la tarde, nuevos sistemas convectivos se desarrollan debido a la persistencia del forzamiento. Se registraron grandes

valores de precipitación (hasta 500 mm en 24 horas). La simulación comienza el día 9 de septiembre de 1996 a las 12 UTC hasta un alcance de 72 horas.

Comparando los experimentos, he encontrado las siguientes ventajas del nuevo método:

- El máximo de precipitación acumulada en 24 horas está mejor localizado, comparado con el análisis subjetivo realizado con datos de la red de estaciones automáticas (Figura 2).
- En general, los campos son más suaves; especialmente el de precipitación, donde desaparece parte de la solución espúrea.

5. Conclusiones

En resumen, el acoplamiento física-dinámica:

- Conduce a resultados más estables, con la posibilidad de aumentar el tamaño del paso de tiempo;
- Produce resultados más exactos para el mismo tamaño de paso de tiempo;
- Predice mejor la trayectoria de un ciclón tropical utilizando un paso de tiempo mayor;
- Localiza mejor el máximo de precipitación comparado con las observaciones en un caso de convección profunda en el área del Mediterráneo y
- Los campos son más suaves, especialmente los de precipitación.

También cabe destacar:

- De los dos nuevos métodos, promediar la difusión vertical a lo largo de la trayectoria semilagrangiana da peores resultados.
- La mejora en la calidad de las predicciones de los nuevos métodos es pequeña en el muy corto plazo, siendo mucho más apreciable en el corto y medio plazo.

Referencias

Beljaars, A., 1991: Numerical Schemes for Parametrizations, Proceedings of the ECMWF Seminar on Numerical Methods in Atmospheric Models, Reading, pp. 1-42.

García-Moya, J.A., 1997: Strong Convective Precipitation in the West Mediterranean. A Case Study. Proceedings of the INM/WMO International Symposium on Cyclones and Hazardous Weather in the Mediterranean, pp. 747-754.

Martínez, I., 2000: Preliminary Tests on Coupling Physics to Dynamics. HIRLAM Newsletter nº 36, pp. 55-62.

Martínez, I., 2001: Assessment of the Coupling of Physics to Dynamics: ECMWF approach. HIRLAM Newsletter nº 38, pp. 144-150.

McDonald, A., Haugen, J., 1992: A Two Time Level, Three Dimensional Semi-Lagrangian, Semi-Implicit, Limited Area Gridpoint Model of the Primitive Equations. Mon. Wea. Rev., Vol 120, pp. 2603-2621.

McDonald, A., 1998: The Origin of Noise in Semi-Lagrangian Integrations. Proceedings of the ECMWF Seminar on Recent Developments in Numerical Methods for Atmospheric Modelling, Reading, pp. 308-334.

Wedi, N.P., 1999: The Numerical Coupling of the Physical Parametrizations to the Dynamical Equations in a Forecast Model. Technical Memorandum No. 274, ECMWF.

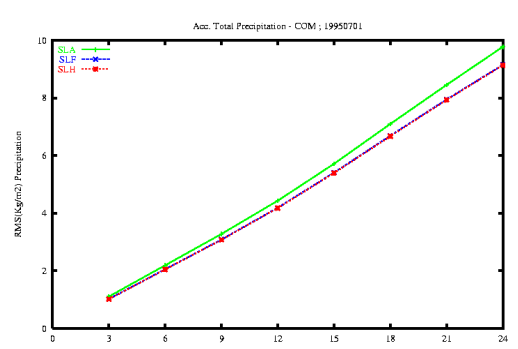
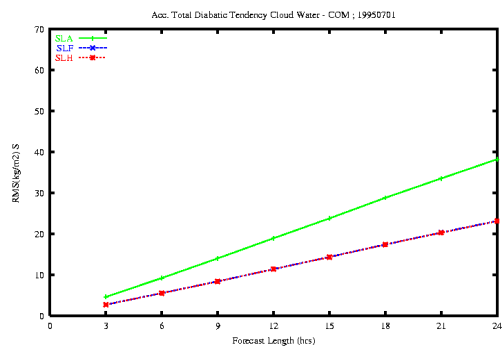
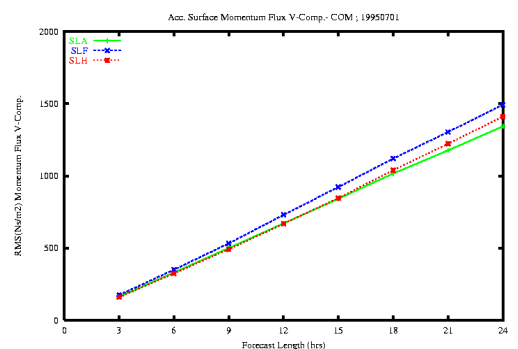
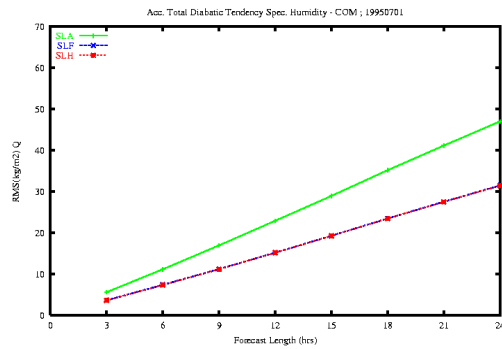
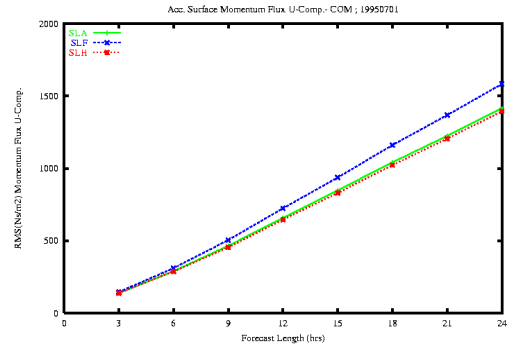
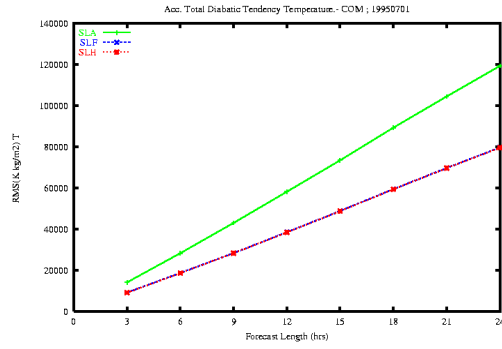


Figura 1: Error cuadrático medio tal como se describe en la ecuación (1) de las tendencias diabáticas totales acumuladas de la temperatura (arriba izquierda), de la humedad específica (centro izquierda) y del contenido de agua de nube (abajo izquierda) y de los flujos superficiales de momento de la componente u (arriba derecha) y de la componente v (centro derecha) y de la precipitación total acumulada (abajo derecha).

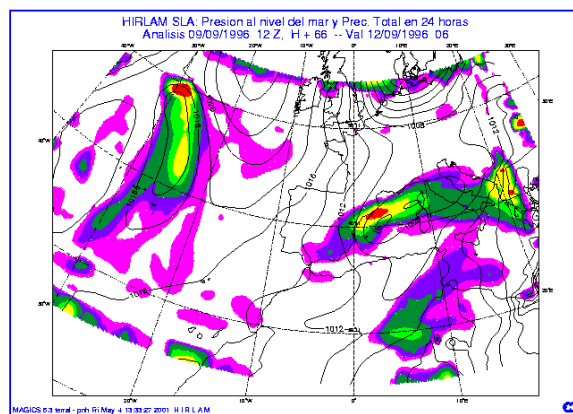
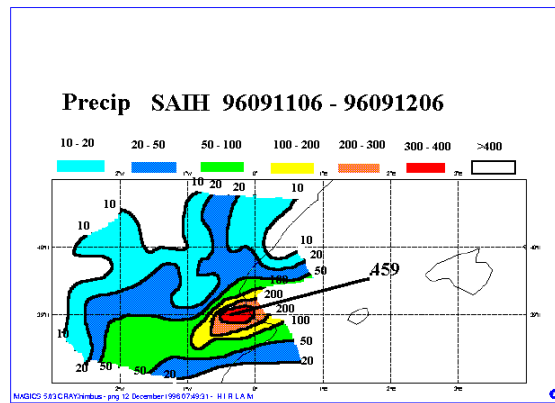
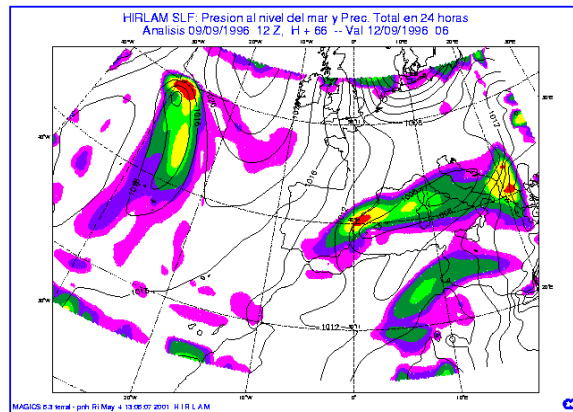


Figura 2: Presión a nivel del mar y precipitación acumulada en 24 horas para el alcance H+66 correspondientes a los experimentos SLF (arriba) y SLA (abajo) y análisis de precipitación subjetivo realizado con los datos de las estaciones automáticas (centro).